

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03519

研究課題名（和文）表面波プラズマのフィラメント配列とプラズマフォトニック結晶

研究課題名（英文）Filament arrangement of surface wave plasma and plasma photonic crystals

研究代表者

向川 政治（MUKAIGAWA, Seiji）

岩手大学・理工学部・教授

研究者番号：60333754

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、マイクロ波放電プラズマのフィラメント構造をプラズマフォトニック結晶の実現方法として提案する。円筒型真空容器内で生成されたヘリウムプラズマフィラメントを研究し、以下の成果を得た。1．ロッド電極上に大気圧でフィラメントを生成し、導波路の整合によりフィラメント長を制御した。入射電力200-400 Wで長さを約4.1-36.8 mmに制御でき、400 Wを超えると最大値で飽和する。2．伝送系の損失を評価し、フィラメントへの投入電力密度を評価した。フィラメント長15～45mmに対し投入電力密度は100-40 W/cm³で、約 5×10^9 cm⁻³の電子密度のフィラメントは伸長する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、プラズマフォトニック結晶の研究を通じて、電磁場とプラズマの基本相互作用の学理を探求することに学術的意義がある。本研究期間内では、マイクロ波放電のフィラメント構造と、誘電体バリア放電の散逸ソリトン（スポット状のプラズマ）の配列について、その生成の起源を実験的に明らかにすることを目標とした。本研究におけるプラズマのフィラメント化現象の把握は、測定結果を放電物理に基づいて理解する初期段階にあるが、問題を広くとらえれば複雑系におけるパターン形成の問題であり、放電様相が特定の寸法の点や線や縞模様になる機構の研究は複雑系における普遍的問題という意味で社会的な意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we propose the filament structure of microwave discharge plasma as a method for realizing plasma photonic crystals. The helium plasma filament generated in a cylindrical vacuum vessel was studied, and the following results were obtained. 1. Filament was generated at atmospheric pressure on the rod electrode, and the filament length was controlled by matching the waveguide. The length can be controlled to about 4.1-36.8 mm with an incident power of 200-400 W, and saturates at the maximum value above 400 W. 2. The loss of the transmission system was evaluated, and the power density input to the filament was evaluated. The input power density is 100-40 W/cm³ for the filament length 15-45mm, and the filament with an electron density of about 5×10^9 cm⁻³ is elongated.

研究分野：プラズマ応用科学

キーワード：マイクロプラズマ マイクロ波放電 フィラメント化 プラズマフォトニック結晶 誘電体バリア放電
自己組織化 散逸ソリトン

1. 研究開始当初の背景

マイクロプラズマは、局在性、高反応性、高輝度性を有し、従来のプラズマのパラメータ領域の違いから、新たな学問領域の開拓として多くの研究が行われている。マイクロプラズマの性質を独創的に応用したプラズマフォトニック結晶デバイスが21世紀の初頭に提案されて以来、プラズマフォトニック結晶(さらにはメタマテリアル)をマイクロプラズマで実現することは放電プラズマ研究者にとってチャレンジングなテーマとなっている。フォトニック結晶は、屈折率の異なる物質を光の波長程度の間隔で周期的に配置した構造を成しており、そこを伝搬する光はブラッグ反射し、光のスペクトルに禁制帯(フォトニックバンドギャップ)を生じるものである。プラズマは密度が高まると屈折率が小さくなるので、マイクロプラズマを周期的に配置した空間は、フォトニック結晶と同等の性質を持つようになる。これはプラズマフォトニック結晶と呼ばれている(本研究では電磁波の周波数帯が光とは異なるが、慣習に従って、電磁波の禁制帯をフォトニックバンドギャップ、結晶状プラズマ配位をプラズマフォトニック結晶(PPC)と呼ぶことにする)。固体フォトニック結晶と比べたときの利点は、アクティブ動作が可能であること、すなわち、プラズマを駆動する電源スイッチの on-off によって結晶が現れたり消えたりすることである。本研究では、屈折率の周期構造をマイクロ波放電プラズマやマイクロプラズマの自己組織化で実現し、プラズマフォトニック結晶の実現の方法として提案する。大気圧マイクロプラズマの生成には、誘電体バリア放電や表面波放電(マイクロ波放電)がよく用いられる。この放電の示す自己組織構造には、局在性の高いフィラメント形状(スポット、パルス、散逸ソリトン)があり、チューリング型不安定性や非線形分岐現象が関係している。しかし、放電プラズマ中でのフィラメント形成機構と、プラズマ中を伝搬する電磁波の間の相互作用については、現時点では、プラズマ密度が誘電率を介して電磁波に影響を与えるという描像しかなく、基本相互作用の全体像の理解には至っていない。プラズマ研究分野における自己組織化の研究は、トカマクなどの核融合系では磁場の自己組織化として古くからメインテーマとなっているが、近年は基礎理論としての非平衡統計力学・非線形物理学におけるパターン形成の研究との結びつきがあり、この文脈で、誘電体バリア放電やプラズマの散逸ソリトンの研究や、表面波(マイクロ波)放電のフィラメント形成やその伝搬に関する研究が近年活発である。大気圧放電の自己組織化は、例えば平行平板型短ギャップ放電では、グロー放電からフィラメントの二次元配列(六角構造)やストライプ構造になるときは、チューリング型不安定性により発生している。局在性の高い散逸ソリトンもチューリング機構によって発生しており、円形や breathing と呼ばれる多様な空間的パターンもある。また、系の対称性が自発的に破れる結果として、ゴールドストーンモードと呼ばれる並進運動モードが現れ、散逸ソリトンは粒子的な振る舞いを示すようになることが既にわかっている。表面波(マイクロ波)放電においては、波動場(電磁場)中のプラズマのフィラメント化現象の機構が実験的・理論的に解明されつつある。本研究は、このような潮流をプラズマフォトニック結晶の実現に結びつけ、実験・理論の両軸に基づいた論理を構築する。さらなるステップとして、非平衡統計力学・非線形力学などの学問体系との整合性を追求することで、本研究で得られた知見をより普遍的なものに昇華させることが大事で、学問的に意義のあることと考える。

2. 研究の目的

本研究では、屈折率の周期構造をマイクロ波放電プラズマやマイクロプラズマの自己組織化で実現し、電磁波制御デバイスとしてのプラズマフォトニック結晶を実現する1つの方法として提案する。また、この研究を通じて、電磁波と放電フィラメントの基本相互作用(電磁場がプラズマ自己組織化現象に及ぼす相互作用)の学理を探究する。研究期間中の目標として、フィラメント化放電プラズマの生成に関し、以下について実験的に検証した。

(1) 円筒型真空容器内でPBGに適したマイクロ波放電のフィラメント構造をつくる

(2) 誘電体バリア放電のフィラメントの形成機構の探査

(1)フィラメント構造形成：マイクロ波プラズマ励起方式により、大気圧および準大気圧のヘリウムでフィラメント状プラズマを生成する。マイクロ波をモード変換器を用いて石英(誘電体)窓から円筒型真空容器内に導入し、石英窓上に均一なフィラメントをつくる。表面波プラズマが生成したら、表面波モードの同定を行い、モード遷移や放電モードの多様性を探査する。PPCの特性測定はネットワークアナライザを用いてSパラメータやリターンロスなどの量を求め、PBGを同定する。これにより電磁波とフィラメントの基本相互作用を同定し、理論モデル形成の知見を得る。また、現象を理解するため、放電のモデル化と数値計算を行う。

(2)フィラメント形成機構：放電開始時の放電の空間構造の形成過程を観測し、フィラメントの形成機構の特定を行う。フィラメントの構造形成において、初期の過程の把握は重要であるので、この観測を高速CMOSカメラやICCDカメラで行う。また、フィラメントの幾何配置、

特に格子定数やフィラメント直径の制御性の把握が重要であるので、ケイ酸ビスマス（BSO）結晶の複屈折を利用した誘電体表面の電界強度や表面電荷密度分布の測定方法を確立する。

3. 研究の方法

上記の目標のため、フィラメント状マイクロ波放電プラズマの生成と測定に関して、(1) 大気圧マイクロ波放電プラズマを用いたフィラメント状構造の生成とそのプラズマ特性の測定、(2) 準大気圧下におけるマイクロ波放電プラズマのフィラメント状構造の測定、(3) フィラメント状構造のマイクロ波放電プラズマへの投入エネルギー密度の評価、また、誘電体バリア放電の自己組織構造に関して、(4) 大気圧窒素マイクロギャップ誘電体バリア放電のストライプ構造の観測、(5) 大気圧窒素流速場中におけるマイクロギャップ誘電体バリア放電のフィラメント構造の観測、(6) 大気圧窒素マイクロギャップ誘電体バリア放電のフィラメント構造の観測、(7) 大気圧ヘリウムマイクロギャップ誘電体バリア放電におけるフィラメント構造から均一構造への放電モード遷移の観測と放電開始電圧の評価を行った。以下、研究期間を通して項目ごとに成果を記す。

4. 研究成果

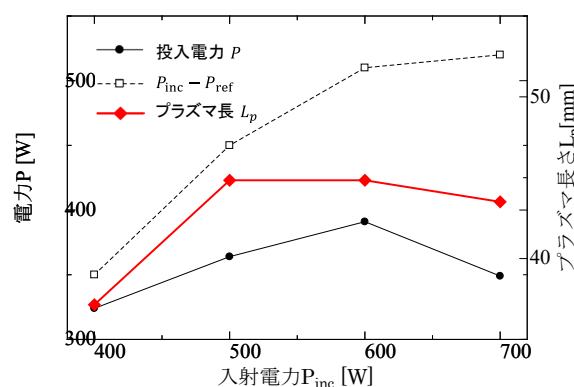
(1) 大気圧マイクロ波放電プラズマを用いたフィラメント状構造の生成では、10GHz 近傍の電磁波の制御を想定した PPC の構築を念頭におき、高密度プラズマによるフィラメント状構造の生成を試みた。空洞共振器としての円筒金属容器内にロッド電極を設置し、その電極上でフィラメント状放電を生成した。入射電力と導波路の整合条件の変化でフィラメント長の制御を行った。最大投入電力は 720 W、入射電力 200 - 400 W でフィラメント長を約 4.1 - 36.8 mm に制御でき、400 - 900 W では最大の長さで飽和することがわかった。フィラメント長が最大値に達した後にさらに入射電力を増加させると反射が増大し、導波路などでの損失が増加する。発光分光分析により電子密度を評価したところ、フィラメント長の増加とともに電子密度は減少することがわかった。

(2) 10GHz 近傍の電磁波の制御を想定し、空洞共振器としての真空容器内に棒電極を設置しフィラメント状構造を生成した。200 - 500 hPa の準大気圧、電源入射電力 450 W、500 W の条件では、プラズマ長は約 45 mm で圧力依存性が小さく、300 W では圧力の増加とともにプラズマ長は減少する。この圧力の範囲内では入射電力の増加とともに投入電力は穏やかに上昇し、反射電力は整合点で 0 W、整合点から遠ざかると大きくなる。入射電力 500 W 以上で投入電力は徐々に増加するが、反射電力の増加とともに回路損失が増大し投入電力に対するプラズマに投入される電力の割合は減少しフィラメント長は飽和する。

(3) 大気圧および準大気圧におけるマイクロ波放電プラズマの生成系とマイクロ波伝送系のエネルギー損失を考慮に入れ、フィラメント状プラズマへの投入エネルギー密度を評価した。フィラメント長 15 - 45 mm に変化に対し投入電力密度は 100 - 40 W/cm³ であり、電子密度が約 $5 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ 一定のフィラメントが伸長していることがわかった。

(4) 大気圧窒素マイクロギャップ DBD の観測では、ストライプ構造の観測例は多いが、詳しくは調べられていなかったため、この放電のストライプ構造を ICCD カメラによる撮影と、画像処理の手法を用いて解析した結果、空間配列の基本構造はフィラメント状であり、その移動によりストライプに見えることがわかった。移動速度は、少なくとも 3.0 m/s であることがわかった。

(5) 昨年度に引き続き ICCD カメラによる撮影と画像処理による解析を行った。目視ではストライプ構造に見える放電様相を露光時間を徐々に減少させ 1 ショットで観測し、約 50 - 100 μ s の露光時間 (5~10 サイクル) で観測される六角構造フィラメントの形状変化から 1 フィラメントの移動速度を求めた。ギャップ長 0.14 mm、印加電圧 2.7 kV でのフィラメントは流量 2.0



プラズマ投入電力と長さの関係

L/min の流速場中では 62.5 mm/s の速度で下流側に移動する放電電流の立ち上がりから露光時間 $1\ \mu\text{s}$ (1/10 サイクル) で観測されるフィラメント配置は六角構造を成さず、窒素 μ DBD ではフィラメントは同時に現れてないことがわかった。

(6) ICCD カメラの露光時間などの撮像条件を変えて放電様相の観測し、フィラメント放電の時間進展とその構造の周期性の評価を行った。放電フィラメントは 1 回の放電で同時には現れずランダムな配列を示すが、印加電圧の 5~10 サイクルの積算でフィラメント配列は六角構造の像を成すことがわかった。

(7) DBD の自己組織構造の発現の初期段階を探るため、自己組織放電からグロー放電へ遷移するときの放電開始電圧を評価した。印加電圧やガス流の増加により放電は自己組織構造からグロー構造に変化し、この変化時に放電開始電圧は減少することがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Taishin Sato, Katsuyuki Takahashi, Seiji Mukaigawa, Koichi Takaki	4. 巻 125
2. 論文標題 Influence of Gas Species on Electrical Characteristics of High-Power Pulsed Sputtering	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 NIFS 研究紀要集 NIFS-PROC-125	6. 最初と最後の頁 28-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ryota Akaishi, Katuyuki Takahashi, Koichi Takaki, Seiji Mukaigawa	4. 巻 125
2. 論文標題 Observation of the stripe and filamentary self-organized structure of atmospheric pressure nitrogen microgap dielectric barrier discharge	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 NIFS 研究紀要集 NIFS-PROC-125	6. 最初と最後の頁 33-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zentarou Sasaki, Tsubasa Saito, Takaharu Kamada, Katsuyuki Takahashi, Koichi Takaki, Seiji Mukaigawa	4. 巻 125
2. 論文標題 Filamentation of 2.45-GHz microwave discharge plasmas in sub-atmospheric pressure	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 NIFS 研究紀要集 NIFS-PROC-125	6. 最初と最後の頁 36-38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hisaki Kikuchi, Katsuyuki Takahashi, Seiji Mukaigawa, Koichi Takaki and Ken Yukimura	4. 巻 12(6)
2. 論文標題 Silicon Wafer Etching Rate Characteristics with Burst Width Using 150 kHz Band High-Power Burst Inductively Coupled Plasma	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 599
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi12060599	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 末永 光、菊池尚希、向川政治、高橋克幸、高木浩一	4. 巻 29(2)
2. 論文標題 150 kHz 帯大電力バースト型誘導性結合窒素プラズマの特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 プラズマ応用科学	6. 最初と最後の頁 59-66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Zentarou Sasaki, Tsubasa Saito, Takaharu Kamada, Katsuyuki Takahashi, Koichi Takaki, Seiji Mukaigawa
2. 発表標題 Filamentation of 2.45-GHz microwave discharge plasmas in sub-atmospheric pressure
3. 学会等名 25th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC25) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木善太郎、目時健吾、 鎌田貴晴、高橋克幸、高木浩一、 向川政治
2. 発表標題 温度測定によるマイクロ波伝送損失の推定とプラズマ 投入電力
3. 学会等名 2023 年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村瑞希、高橋 響、鎌田貴晴、 高橋克幸、高木浩一、向川 政治
2. 発表標題 誘導結合プラズマおけるファラデーシールドによるE モード放電の抑制
3. 学会等名 2023 年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koichi Takaki, Naohiro Takahashi, Katsuyuki Takahash, Seiji Mukaigawa
2. 発表標題 Production of High-Density Plasma by 150 kHz Band Burst Pulse for One-Inch Etching Process
3. 学会等名 The 7th Taiwan-Japan Workshop on Plasma Life Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Takahashi, N. Takahashi, H. Suenaga, S. Mukaigawa, K. takaki
2. 発表標題 Observation of argon plasma driven by 150 kHz band high power burst pulse voltage
3. 学会等名 The 44th International Symposium on Dry Process (DPS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 月館悠斗、鎌田貴晴、渡部政行、中村嘉孝、角館俊行、向川政治
2. 発表標題 擬火花放電プラズマCVD法による水素化アモルファスカーボン膜の成膜
3. 学会等名 第40回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村瑞希 , 高橋響 , 高橋克幸 , 高木浩一 , 鎌田貴晴 , 向川政治
2. 発表標題 誘導結合プラズマのE H モード遷移におけるファラデーシールドの影響
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第7 8 回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 五十嵐爽斗 , 佐藤太進 , 高橋克幸 , 向川政治 , 高木浩一
2. 発表標題 大電力パルススパッタリングのガス種依存性
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第78回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 狩野遼也 , 高橋克幸 , 高木浩一 , 向川政治
2. 発表標題 大気圧ヘリウムマイクロギャップDBD における自己組織構造と放電開始電圧
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第78回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 月館 悠斗, 鎌田 貴晴, 渡部 政行, 中村 嘉孝, 角館 俊行, 向川 政治
2. 発表標題 Optimization of Pseudo spark discharge electrode geometry
3. 学会等名 2022年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木 善太郎, 鎌田 貴晴, 高橋 克幸, 高木 浩一, 向川 政治
2. 発表標題 準大気圧下におけるフィラメント状マイクロ波放電プラズマの生成
3. 学会等名 2022年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Zentarou Sasaki, Tsubasa Saito, Takaharu Kamada, Katsuyuki Takahashi, Koichi Takaki, Seiji Mukaigawa
2. 発表標題	Generation of 2.45-GHz microwave plasma filament in sub-atmospheric pressure
3. 学会等名	11th International Conference on Reactive Plasmas, Gaseous Electronics Conference 2022(ICRP-11/GEC 2022/SPP-40/SPSM35) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Ryota Akaishi, Ryoya Karino, Katsuyuki Takahashi, Koichi Takaiki, Seiji Mukaigawa
2. 発表標題	Observation of the stripe and filamentary self-organized structure of atmospheric pressure nitrogen microgap dielectric barrier discharge
3. 学会等名	11th International Conference on Reactive Plasmas, Gaseous Electronics Conference 2022(ICRP-11/GEC 2022/SPP-40/SPSM35) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Takaharu Kamada, Masayuki Watanabe, Yoshitaka Nakamura, Seiji Mukaigawa
2. 発表標題	Characteristics of DLC films deposited by pseudo-spark discharge PE-CVD with different substrate bias voltages
3. 学会等名	11th International Conference on Reactive Plasmas, Gaseous Electronics Conference 2022(ICRP-11/GEC 2022/SPP-40/SPSM35) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	末永光, 菊池尚希, 高橋克幸, 向川政治, 高木浩一
2. 発表標題	150 kHz 帯大電力パルスバースト型誘導性結合 Ar プラズマの放電観測
3. 学会等名	応用物理学会東北支部第77回学術講演会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 神原秀也 , 後藤優太 , 高橋克幸 , 高木浩一 , 向川政治
2. 発表標題 BSO 結晶による自己組織化誘電体バリア放電の表面電荷測定
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第77回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤優太, 岩淵将士, 神原秀也, 高橋克幸, 高木浩一, 向川政治
2. 発表標題 BSO 結晶を用いた基板表面電荷分布の時間発展の測定
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第77回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋響, 中村瑞希, 鎌田貴晴, 高橋克幸, 高木浩一, 向川政治
2. 発表標題 誘導結合プラズマの E-H モード遷移における直列容量の影響
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第77回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤太進, 高橋克幸, 向川政治, 高木浩一
2. 発表標題 大電力パルススパッタリングにおける放電特性のガス種依存性
3. 学会等名 2022 年度核融合科学研究所共同研究形式研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 赤石 峻太, 高橋 克幸, 高木浩一, 向川政治
2. 発表標題 大気圧窒素マイクロギャップ誘電体バリア放電における自己組織構造の観測と制御
3. 学会等名 2022 年度核融合科学研究所共同研究形式研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木善太郎, 鎌田貴晴, 高橋克幸, 高木浩一, 向川政治
2. 発表標題 準大気圧マイクロ波放電によるフィラメント状プラズマの生成とPPCへの応用
3. 学会等名 2022 年度核融合科学研究所共同研究形式研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 月館悠斗, 鎌田貴晴, 渡部政行, 向川政治
2. 発表標題 擬火花放電プラズマCVD 法におけるフローティング電極の効果
3. 学会等名 令和3年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤石峻太, 高橋克之, 高木浩一, 向川政治
2. 発表標題 大気圧窒素マイクロギャップDBD の自己組織構造の観測
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤 翼, 佐々木 善太郎, 鎌田 貴晴, 高橋 克幸, 高木 浩一, 向川 政治
2. 発表標題 大気圧マイクロ波放電によるフィラメント状構造の生成
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第76回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大気圧窒素マイクロギャップDBD の自己組織構造の観測
2. 発表標題 赤石 峻太, 高橋 克幸, 高木 浩一, 向川 政治
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第76回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hisaki Kikuchi, Katsuyuki Takahashi, Seiji Mukaigawa and Koichi Takaki
2. 発表標題 Burst Width Characteristics of 150 kHz Band High-Power Burst Inductively Coupled Plasma Etching
3. 学会等名 12th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-12) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taishin Sato, Shoki Abe, Katsuyuki Takahashi, Seiji Mukaigawa and Koichi Takaki
2. 発表標題 Influence of Gas Species on Electrical Characteristics of High-Power Pulsed Sputtering
3. 学会等名 12th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-12) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 末永光, 菊池尚希, 高橋克幸, 向川政治, 高木浩一
2. 発表標題 150 kHz 帯大電力パースト型誘導性結合窒素プラズマの特性
3. 学会等名 第36回プラズマプロセッシング研究会(SPP-39)/第31回プラズマ材料科学シンポジウム(SPSM-34)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤翼, 佐々木善太郎, 鎌田貴晴, 高橋克幸, 高木浩一, 向川政治
2. 発表標題 フィラメント状大気圧マイクロ波放電プラズマの生成
3. 学会等名 第36回プラズマプロセッシング研究会(SPP-39)/第31回プラズマ材料科学シンポジウム(SPSM-34)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤石峻太, 高橋克幸, 高木浩一, 向川政治
2. 発表標題 大気圧窒素マイクロギャップ DBD の自己組織構造の観測
3. 学会等名 第36回プラズマプロセッシング研究会(SPP-39)/第31回プラズマ材料科学シンポジウム(SPSM-34)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	鎌田 貴晴 (Takaharu Kamada) (50435400)	八戸工業高等専門学校・その他部局等・助教 (51101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------